

Pengaruh Difusi Air Terhadap Dielektrik Dan Hidrofobik Pada Material Elastomer Silikon

Satrianto Magu'ga
Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Makassar, Sulawesi Selatan
satriamaguga@gmail.com

Salama Manjang
Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Makassar, Sulawesi Selatan
salamamanjang@unhas.ac.id

Hasniaty A
Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Makassar, Sulawesi Selatan
hasniaty@unhas.ac.id

Abstract— One of the supporting equipment for the power distribution system is an electrical insulator. The function of an electrical insulator is crucial in ensuring the smooth transmission of electrical energy by isolating the high-voltage conductor from other conductors. The advantages of polymer insulators include dielectric properties, volume resistivity, thermal properties, mechanical strength, and lightweight. Polymer insulators also possess hydrophobic properties, allowing them to maintain their hydrophobic nature even when exposed to a layer of pollution. To determine the influence of water diffusion on the dielectric and hydrophobic properties of silicone elastomer, the percentage of water absorption affecting the contact angle and relative permittivity was determined. The dielectric strength and contact angle play a significant role in determining the quality of the insulator used in the power system. In this research, silicone elastomer samples with SiO₂ and ATH fillers were immersed at room temperature and 50°C, following the IEC standards. The study also involved qualitative data testing. The research results indicate that the concentration of fillers given affects the level of water absorption by the samples. As the sample weight increases, the obtained contact angle tends to be smaller, but all samples still exhibit hydrophobic properties. Furthermore, the research findings also show that as the sample weight increases, the relative permittivity values tend to be higher, but under certain conditions, the relative permittivity values can be lower.

Keywords: *Insulator, Silicone Elastomer, SiO₂, ATH, Contact Angle, Relative Permittivity.*

Abstrak— Salah satu peralatan yang mendukung sistem penyaluran tenaga listrik adalah isolator listrik. Fungsi isolator listrik sangat penting dalam menjaga agar tidak terjadi gangguan dalam penyaluran tenaga listrik dengan mengisolasi konduktor bertegangan dari konduktor lainnya. Kelebihan isolator polimer mencakup sifat dielektrik, resistivitas volume, sifat termal, kekuatan mekanik, dan bobot yang ringan. Isolator polimer juga memiliki sifat menolak air (hidrofobik) dan mampu mempertahankan sifat hidrofobiknya bahkan saat terkena lapisan polusi. Untuk mengetahui pengaruh difusi air terhadap sifat dielektrik dan hidrofobik pada elastomer silikon, dilakukan penentuan persentase penyerapan air yang mempengaruhi sudut kontak dan nilai permitivitas relatif. Kekuatan dielektrik dan sudut kontak sangat penting dalam

menentukan kualitas isolator yang digunakan dalam sistem tenaga listrik. Dalam penelitian ini, elastomer silikon dengan filler SiO₂ dan ATH direndam pada suhu ruang dan suhu 50°C sesuai standar IEC. Penelitian ini juga melibatkan pengujian data kualitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi filler yang diberikan berpengaruh pada tingkat penyerapan air oleh sampel. Semakin besar berat sampel, sudut kontak yang didapatkan cenderung lebih kecil, namun semua sampel tetap menunjukkan sifat menolak air (hidrofobik). Selain itu, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa semakin besar berat sampel, nilai permitivitas relatif cenderung lebih tinggi, namun dalam beberapa kondisi tertentu, nilai permitivitas relatif dapat lebih rendah.

Kata kunci : Isolator, Elastomer Silikon, SiO₂, ATH, Sudut Kontak, Permitivitas Relatif

I. PENDAHULUAN

Sistem transmisi atau distribusi listrik memerlukan komponen penunjang, salah satunya adalah isolator listrik. Isolator listrik memiliki peran penting menjaga kinerja sistem penyaluran listrik. Isolator listrik berfungsi untuk mengisolasi konduktor bertegangan dari konduktor lainnya sehingga tidak terjadi masalah pada sebuah sistem dan mencegah bahaya yang mungkin dapat terjadi bagi masyarakat. Di Indonesia, tegangan transmisi yang digunakan bervariasi antara 20 kV hingga 500 kV tergantung pada jenis saluran udara yang digunakan dan kondisi geografis daerah tersebut. Indonesia memiliki iklim tropis dengan penyinaran matahari selama 12 jam sehari, temperatur udara berkisar antara 16-35 °C, dan curah hujan yang tinggi berkisar antara 400-500 mm.

Isolator listrik yang umum digunakan saat ini adalah isolator porselen dan gelas, namun memiliki beberapa kekurangan seperti mudah basah, tidak tahan terhadap benturan, berat, mudah berpolusi, dan mahal. Kegagalan isolator biasanya disebabkan oleh aspek permukaan dan aspek ruah. Aspek permukaan mengakibatkan arus bocor pada permukaan, sedangkan aspek ruah menyebabkan sifat dielektrik yang menurun dan isolator menjadi mudah pecah akibat sambaran petir atau switching. Isolator polimer atau isolator komposit merupakan jenis isolator baru yang lebih ringan dan memiliki kekuatan mekanik yang tinggi. Isolator polimer memiliki sifat menolak air (*hydrophobicity*), sifat dielektrik, sifat termal, resistivitas volume, ringan, dan kekuatan mekanik. Namun, isolator polimer rentan terhadap iklim,

terpaan medan listrik yang tinggi, dan polusi, sehingga dapat mengalami penuaan dan degradasi.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan kinerja isolator polimer, seperti menambahkan partikel mikro atau Nano silika (SiO_2) ke dalam Silikon Rubber untuk meningkatkan ketahanan terhadap pelapukan ultraviolet [8], atau meneliti sifat transfer hidrofobik dari bahan isolator polimer silicone rubber akibat pengaruh cuaca di daerah tropis perkotaan [13]. Terdapat pula penelitian tentang pengaruh difusi air terhadap perilaku dielektrik isolator polimer dengan menggunakan sampel uji dari RTV 683 dicampur dengan bahan pengisi *fly ash* Batubara berdasarkan konsentrasi yang dibutuhkan [7].

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Isolator

Isolator merupakan sebuah perangkat dengan kandungan bahan dielektrik dan berfungsi untuk memisahkan suatu konduktor yang memiliki tegangan dengan konduktor lain yang memiliki tegangan berbeda, atau konduktor dengan kawat penyangga yang dihubungkan ke tanah. Tujuan dari isolator ini adalah untuk mencegah terjadinya kebocoran arus (*leakage current*) dan loncatan bunga api (*flashover*), yang dapat menyebabkan gangguan pada sistem dan mengurangi kehandalan sistem, serta berpotensi membahayakan manusia.

B. Karakteristik Isolator

Karakteristik isolator dapat diamati melalui sifat elektrik dan mekanisnya. Sifat elektrik isolator terkait dengan kemampuannya dalam menahan loncatan bunga api dan arus bocor. Isolator yang dipasang pada jaringan udara rentan terhadap perubahan kondisi lingkungan sekitar. Hal ini dapat mempengaruhi kemampuan isolator dalam menahan tegangan. Kondisi kelembaban juga mempengaruhi kinerja isolator. Dalam kondisi basah, tegangan loncatan bunga api lebih rendah dibandingkan dengan kondisi kering. Sebaliknya, arus bocor pada isolator paling besar pada kondisi basah dan paling kecil pada kondisi kering.

Di sisi lain, karakteristik mekanis isolator ditentukan oleh kekuatan mekanisnya, yaitu beban maksimum yang dapat diatasi sebelum isolator mengalami kerusakan. Kekuatan mekanis diuji dengan memberikan beban bertahap pada isolator hingga terjadi kerusakan. Kekuatan mekanis isolator diungkapkan dalam tiga kondisi beban, yaitu tarik, tekan, dan tekuk.

C. Isolator Polimer

Salah satu sifat yang sangat penting pada isolator polimer adalah kemampuannya dalam menolak serangan air (*Water repellent*). Hal ini disebabkan oleh dominasi gugus metil hidrokarbon (CH_3) dalam komposisi struktur kimianya yang bersifat hidrofobik. Dalam aplikasi teknik tegangan tinggi, beberapa sifat isolator yang sangat penting untuk diketahui adalah sebagai berikut:

a. Sifat hidrofobik

Bahan pengisi yang ditambahkan pada polimer SIR memiliki peran penting dalam meningkatkan

ketahanannya terhadap retakan dan erosi yang disebabkan oleh tekanan atmosfer dan suhu tinggi saat digunakan sebagai isolator eksternal pada tegangan tinggi. Adapun perbedaan sudut kontak (*virgin*) yang terjadi pada bahan uji sebelum penuaan disebabkan perbedaan kekasaran permukaan [10].

b. Sifat dielektrik

Sifat dielektrik adalah kondisi yang menggambarkan kemampuan suatu material isolasi kelistrikan untuk menahan arus listrik. Kemampuan ini dinyatakan dengan faktor disipasi ($\tan\delta$) dan permitivitas relatif (ϵ_r). Bahan polimer cenderung mengalami penurunan sifat dielektriknya seiring dengan bertambahnya usia, terutama karena masuknya molekul air dari hujan atau kelembaban ke dalam bahan tersebut. Permitivitas relatif merupakan nilai yang menunjukkan seberapa besar kemampuan isolator untuk menahan medan listrik saat diberikan beda potensial pada kedua sisi permukaan isolator. Kemampuan ini sangat penting untuk dimiliki oleh isolator. Semakin rendah nilai permitivitas relatif, semakin kecil medan listrik yang dapat dilewatkan oleh isolator. Persamaannya dapat dinyatakan sebagai Persamaan (1).

$$\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0 \quad (1)$$

Ini berkaitan dengan nilai kapasitansi yang dimiliki bahan dielektrik itu yang diperoleh dari Persamaan (2) berikut :

$$C_0 = \epsilon_0 / d \quad (2)$$

Selanjutnya Persamaan (2) disubstitusi ke dalam Persamaan (3) sehingga menjadi:

$$C_0 = (\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot A) / d \quad (3)$$

$$\epsilon_r = (C \cdot d) / (\epsilon_0 \cdot A) \quad (4)$$

c. Sifat termal

Sifat unik bahan polimer sangat dipengaruhi oleh perubahan suhu. Ketika suhu berubah, pergerakan molekul juga berubah karena suhu mempengaruhi struktur molekul, terutama struktur yang memiliki dimensi yang besar. Selain itu, panas, oksigen, dan air dapat memicu reaksi kimia pada molekul polimer, seperti depolimerisasi, oksidasi, hidrolisis, dan lainnya, terutama pada suhu tinggi.

III. METODOLOGI PENELITIAN.

A. Tempat Pelaksanaan Penelitian

Penelitian yang dilakukan adalah jenis penelitian eksperimen yang dilaksanakan di Laboratorium Tegangan Tinggi dan Infrastruktur Universitas Hasanuddin. Adapun pengerjaan dilaksanakan pada bulan Juli-September 2022.

B. Metode Pengambilan dan pengolahan Data

Dalam pengumpulan dan pengolahan data untuk penulisan karya ini, beberapa metode dapat digunakan untuk memperoleh informasi yang dipakai dalam penelitian ini. Metode yang digunakan penulis untuk melakukan penelitian ini yaitu :

- Studi literatur
Merupakan mencari dan membaca berbagai referensi yang berkaitan dengan penelitian ini.
- Pembuatan sampel uji

Merupakan tahap untuk melakukan pembuatan material uji yang akan diteliti. Adapun tahapan dalam pembuatan sampel uji adalah :

- a. Memanaskan filler pada suhu 90 °C selama 24 jam.
 - b. Menyiapkan alat dan bahan.
 - c. Mensterilisasi alat kerja dengan alkohol.
 - d. Menimbang filler dan *Silicone rubber* RTV 683, kemudian memasukkannya ke dalam alat mixer dan vakum. Pencampuran dilakukan selama 30 menit dengan kecepatan putaran pengaduk sebesar 75 rpm.
 - e. Masukkan *hardener* sesuai petunjuk pemakaian yang dianjurkan pada kemasan *Silicone rubber* RTV 683. Kemudian campur dengan kecepatan putaran pengaduk sebesar 126 rpm selama 2,5 menit.
 - f. Pencampuran dilakukan dalam keadaan vakum dengan tingkat kevakuman sebesar 0,8 bar.
 - g. Masukkan campuran ke dalam cetakan yang telah disiapkan dan tunggu sampai mengering, kemudian lepaskan dari cetakan.
 - h. Sampel yang akan diuji dimasukkan ke dalam oven selama 3 hari dengan suhu oven sebesar 50 °C.
- Pengukuran parameter awal
Merupakan tahap yang dilakukan setelah dari proses pengovenan selama 3 hari. Untuk tahap ini harus langsung dilakukan pada saat pengeluaran dari oven. Adapun yang parameter yang akan diukur adalah berat, sudut kontak, dan permitivitas. Pengukuran sudut kontak menggunakan sebuah tetesan air sebesar 50 µL. Adapun tahapan pengukuran sudut kontak, sebagai berikut :
- a. Meletakkan sampel uji yang telah diberi perlakuan sedemikian rupa dan menghidupkan kamera, keduanya diposisikan hingga pada layar kamera tampak seperti garis lurus.
 - b. Meneteskan aquades sebanyak 50 µL.
 - c. Menghidupkan lampu pada kamera sehingga pada saat pengambilan gambar terlihat jelas.
 - d. Menyimpan gambar dalam laptop kemudian mengolah dengan aplikasi Imagej untuk mengukur sudut kontak.
 - e. Hasil dari aplikasi dibawa ke dalam persamaan berikut :

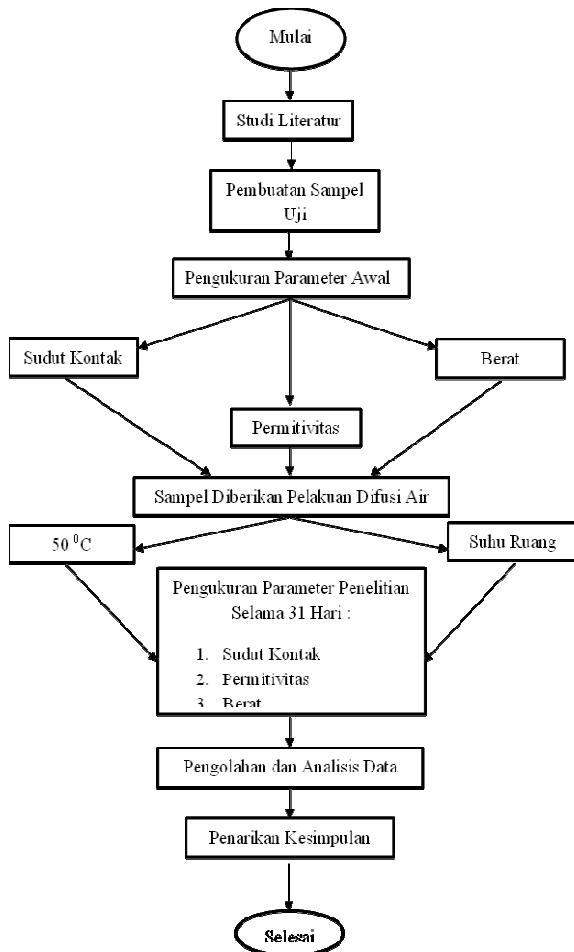
$$SK_r = \frac{SK_{Kiri} + SK_{Kanan}}{z} \quad (5)$$

Adapun tahapan untuk mengukur nilai permitivitas relatif, sebagai berikut :

- a. Mengukur nilai kapasitansi sampel uji menggunakan LCR meter dan alat bantu ukur kapasitansi.
- b. Mengukur panjang dan lebar sampel uji dengan mistar dan juga ketebalannya dengan menggunakan Digital Thickness Gauge.
- c. Mengukur nilai kapasitansi sampel uji, sebelumnya itu dikeringkan menggunakan tisu.
- d. Hasil dari alat ukur yang didapatkan, nilai kapasitansi tersebut diolah ke dalam Persamaan 4.

- Perlakuan difusi air
Merupakan tahap perlakuan terhadap sampel yang baru saja dibuat dengan merendamnya dalam sebuah stoples kaca yang isinya air murni (aquades), kemudian meletakkan toples kaca tersebut dalam sebuah akuarium yang telah diisi dengan air biasa untuk ketinggian tertentu dan suhu air tersebut akan dikontrol pada tingkat derajat Celcius tertentu, di mana ini dilakukan dalam suhu 50 °C dan suhu ruang. Perlakuan ini dilakukan satu hari untuk satu kali pengukuran parameter sampai kurun waktu 31 hari.
- Pengukuran parameter penelitian
Merupakan pengukuran terhadap sampel yang telah direndam selama satu hari dan ini dilakukan selama 31 hari berturut-turut. Adapun parameter yang akan diukur terhadap sampel adalah berat, sudut kontak, dan permitivitas relatif.
- Pengolahan dan analisis data
Merupakan tahap di mana semua data telah didapatkan, kemudian dilakukan pengolahan terhadap data tersebut. Setelah itu hasil yang didapatkan akan dianalisis dengan membandingkan hasil pengukuran yang didapatkan setelah dilakukan perlakuan terhadap sampel dengan hasil pengukuran sebelum dilakukan perlakuan terhadap sampel.
- Penarikan kesimpulan
Merupakan tahap akhir dalam penelitian. Peneliti akan menarik kesimpulan dari hasil analisis pengolahan data yang telah dilakukan dengan melihat hubungan antara hasil pengolahan data dan permasalahan yang diteliti.

C. Alur Penelitian

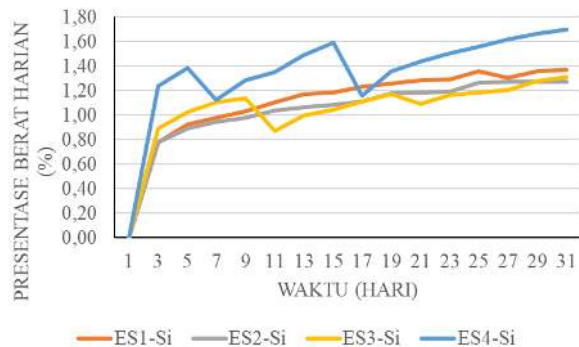


Gambar 1. Flowchart alur penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Sebaran Berat Harian

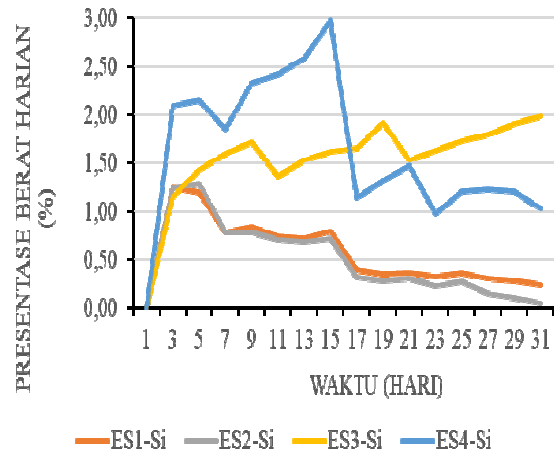
a) Sampel ES-Si



Gambar 2. Persentase berat harian sampel ES-Si pada suhu ruang

Gambar 2 menunjukkan penambahan air dan pengurangan berat pada sampel yang mempertahankan sifat hidrofobiknya. Data menunjukkan bahwa sampel ES1-Si mengalami kenaikan persentase penyerapan air, meskipun terkadang mengalami penurunan seperti pada hari ke-5

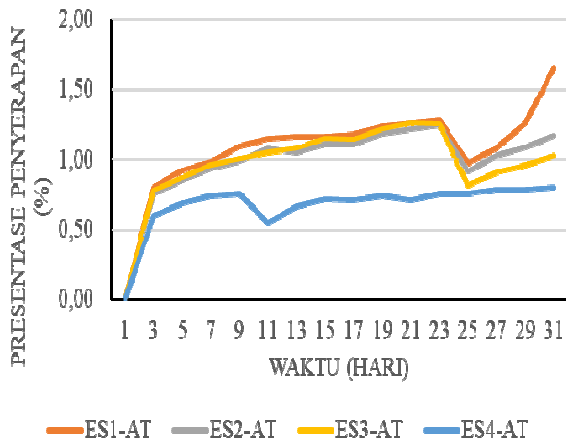
hingga ke-6. Sampel ES2-Si mengalami penurunan persentase penyerapan air pada hari ke-10 hingga ke-11, sedangkan sampel ES3-Si mengalami penurunan pada hari ke-8 hingga ke-9. Sampel ES4-Si juga mengalami penurunan pada hari ke-3 hingga ke-4. Penyerapan air yang lebih besar pada bahan pengisi yang mengandung banyak SiO₂ disebabkan oleh sifat higroskopis SiO₂. Sifat fisik dan kimia bahan pengisi seperti porositas, luas permukaan, dan ukuran partikel juga mempengaruhi penyerapan air pada bahan pengisi. Semakin besar porositas atau luas permukaan dan semakin kecil ukuran partikel, maka semakin besar kemampuan bahan pengisi untuk menyerap air.



Gambar 3. Persentase berat harian sampel ES-Si pada suhu 50 °C

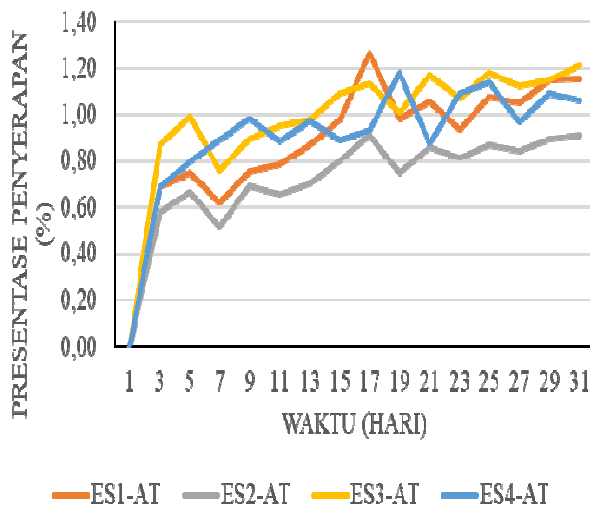
Gambar 3 menunjukkan penambahan air dan pengurangan berat pada sampel yang mempertahankan sifat hidrofobiknya. Data menunjukkan bahwa sampel ES1-Si mengalami kenaikan persentase penyerapan air, meskipun terkadang mengalami penurunan seperti pada hari ke-2 hingga ke-3. Sampel ES2-Si mengalami penurunan persentase penyerapan air pada hari ke-2 hingga ke-3, sedangkan sampel ES3-Si mengalami penurunan pada hari ke-9 hingga ke-10. Sampel ES4-Si juga mengalami penurunan pada hari ke-2 hingga ke-3. Penyerapan air pada bahan pengisi SiO₂ dapat bervariasi pada suhu 50 °C karena perubahan sifat fisik dan kimia SiO₂ pada suhu tersebut. Pada suhu ruang, SiO₂ umumnya memiliki sifat higroskopis yang stabil. Namun, pada suhu 50 °C, terjadi perubahan struktur kristal SiO₂ yang dapat mempengaruhi sifat higroskopisnya. Selain itu, pada suhu yang lebih tinggi, air cenderung berdifusi dan menguap lebih cepat, sehingga bahan pengisi SiO₂ memiliki waktu yang lebih sedikit untuk menyerap air sebelum menguap. Faktor-faktor seperti struktur kristal SiO₂, morfologi permukaan, dan kecepatan difusi air pada suhu tersebut mempengaruhi penyerapan air pada bahan pengisi SiO₂ pada suhu 50 °C.

b) Sampel ES-AT



Gambar 4. Presentase berat harian sampel ES-AT pada suhu ruang

Gambar 4 menunjukkan penambahan air dan pengurangan berat pada sampel yang mempertahankan sifat hidrofobiknya. Data menunjukkan bahwa sampel ES1-AT mengalami kenaikan persentase penyerapan air, meskipun terkadang mengalami penurunan seperti pada hari ke-5 hingga ke-6. Sampel ES2-AT tidak mengalami penurunan persentase penyerapan air, sementara sampel ES3-AT mengalami penurunan pada hari ke-15 hingga ke-16. Sampel ES4-Si juga mengalami penurunan persentase penyerapan air pada hari ke-8 hingga ke-9. Penyerapan air yang tinggi pada sampel dengan sedikit bahan pengisi ATH disebabkan oleh sifat hidrofobik alumina trihidrat (ATH). Struktur kristal ATH yang stabil dan tidak reaktif terhadap air, luas permukaan yang rendah, ukuran partikel yang kecil, dan luas permukaan yang besar pada bahan pengisi dapat mempengaruhi kapasitas penyerapan air. Anomali pada data mungkin disebabkan oleh perubahan suhu, kelembaban, dan tekanan dalam ruangan penelitian pada periode hari ke-21 hingga ke-24.



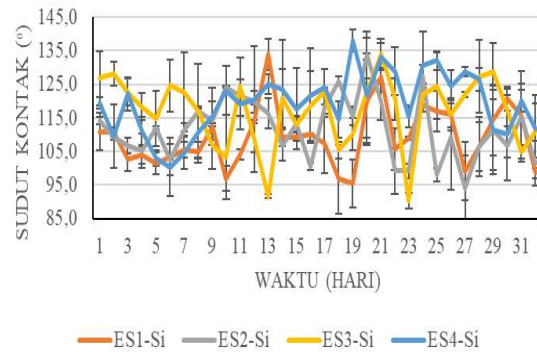
Gambar 5. Presentase berat harian sampel ES-AT pada suhu 50 °C

Gambar 5 menunjukkan penambahan air dan pengurangan berat pada sampel yang mempertahankan sifat hidrofobiknya. Data menunjukkan bahwa sampel ES1-AT mengalami kenaikan persentase penyerapan air, meskipun

terkadang mengalami penurunan seperti pada hari ke-5 hingga ke-6. Sampel ES2-AT mengalami penurunan persentase penyerapan air pada hari ke-5 hingga ke-6, sedangkan sampel ES3-AT mengalami penurunan pada hari ke-4 hingga ke-5. Sampel ES4-AT juga mengalami penurunan pada hari ke-8 hingga ke-9. Penyerapan air pada bahan pengisi ATH dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti perubahan suhu dan kelembaban udara. Pada suhu atau kelembaban udara tinggi, kemampuan partikel ATH untuk menyerap air menjadi lebih besar. Namun, pada suhu atau kelembaban udara yang rendah, partikel ATH dapat melepaskan air yang sebelumnya diserap, sehingga penyerapan air menjadi turun. Selain itu, bentuk, ukuran, dan permukaan partikel ATH juga mempengaruhi penyerapan air. Bentuk dan ukuran yang berbeda pada partikel ATH dapat mempengaruhi luas permukaan dan ketersediaan ruang kosong dalam partikel, yang pada akhirnya mempengaruhi kemampuan partikel ATH untuk menyerap air.

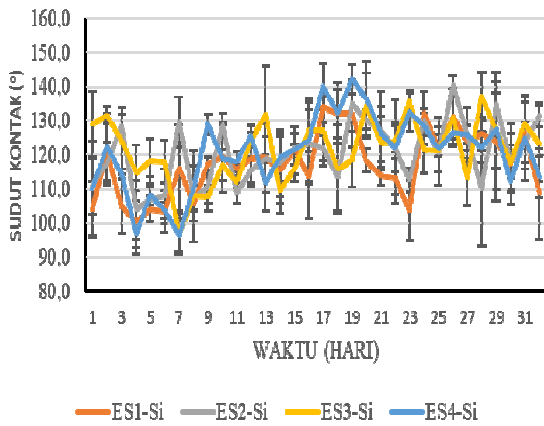
B. Sudut Kontak

a) Sampel ES-Si



Gambar 6. Nilai sudut kontak sampel ES-Si pada suhu ruang

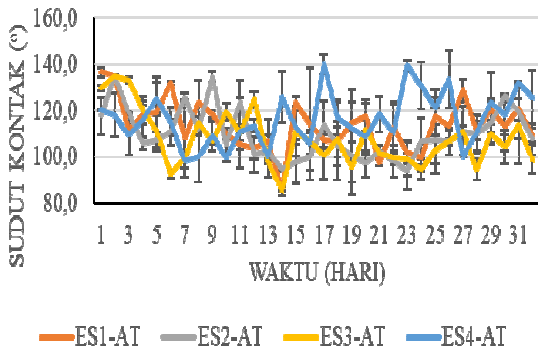
Gambar 6 menunjukkan variasi nilai sudut kontak. Selama pengukuran, perbedaan suhu dan kelembaban juga mempengaruhi fenomena ini. Misalnya, pada sampel ES1-Si, nilai sudut kontak sebelum perendaman adalah 110,9°, menunjukkan sifat hidrofobik. Setelah perendaman, terjadi fluktuasi penurunan dan kenaikan sudut kontak, dengan penurunan terendah pada hari ke-18 (95,5°) dan kenaikan tertinggi pada hari ke-12 (133,9°), tetap menunjukkan sifat hidrofobik. Pola yang serupa juga terlihat pada sampel ES2-Si, ES3-Si, dan ES4-Si. Keempat sampel tersebut tetap memiliki sifat hidrofobik, dengan sudut kontak terbaik terlihat pada ES4-Si. Bahan pengisi SiO₂ memiliki sifat hidrofobik karena struktur kimianya yang terdiri dari ikatan kovalen polar antara atom silikon dan oksigen. Molekul SiO₂ memiliki momen dipol akibat perbedaan muatan listrik parsial antara atom silikon dan oksigen. Permukaan SiO₂ juga memiliki ikatan siloxane (Si-O-Si) yang terbentuk oleh molekul air yang mengikat permukaan SiO₂. Lapisan silanol (Si-OH) pada permukaan SiO₂ membuatnya sulit terhidrasi, dan ikatan hidrogen yang kuat antara molekul air dan lapisan silanol mencegah molekul air menempel dengan mudah. Perubahan suhu dan kelembaban ruangan dapat mempengaruhi sudut kontak yang diperoleh selama pengukuran.



Gambar 7. Nilai sudut kontak sampel ES-Si pada suhu 50 °C

Gambar 7, terlihat variasi nilai sudut. Selama pengukuran, perbedaan suhu dan kelembaban juga mempengaruhi fenomena ini. Misalnya, pada sampel ES1-Si, nilai sudut kontak sebelum perendaman adalah (104,2°), menunjukkan sifat hidrofobik. Setelah perendaman, terjadi fluktuasi penurunan dan kenaikan sudut kontak, dengan penurunan terendah pada hari ke-5 (103,4°) dan kenaikan tertinggi pada hari ke-16 (134,0°), tetap menunjukkan sifat hidrofobik. Pola yang serupa juga terlihat pada sampel ES2-Si, ES3-Si, dan ES4-Si. Keempat sampel tersebut tetap memiliki sifat hidrofobik, dengan sudut kontak terbaik terlihat pada ES4-Si. Bahan pengisi SiO₂ memiliki sifat hidrofobik karena struktur kimianya yang terdiri dari ikatan kovalen polar antara atom silikon dan oksigen. Molekul SiO₂ memiliki momen dipol akibat perbedaan muatan listrik parsial antara atom silikon dan oksigen. Permukaan SiO₂ juga memiliki ikatan siloxane (Si-O-Si) yang terbentuk oleh molekul air yang mengikat permukaan SiO₂. Lapisan silanol (Si-OH) pada permukaan SiO₂ membuatnya sulit terhidrasi, dan ikatan hidrogen yang kuat antara molekul air dan lapisan silanol mencegah molekul air menempel dengan mudah. Perubahan suhu dan kelembaban ruangan dapat mempengaruhi sudut kontak yang diperoleh selama pengukuran.

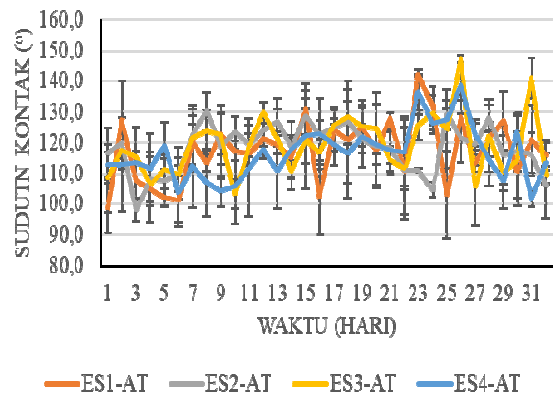
b) Sampel ES-AT



Gambar 8. Nilai sudut kontak sampel ES-AT pada suhu ruang

Gambar 8 menunjukkan variasi nilai sudut kontak yang mengalami penurunan dan kenaikan. Perbedaan suhu dan kelembaban selama pengukuran juga

mempengaruhi fenomena ini. Misalnya, pada sampel ES1-AT, nilai sudut kontak sebelum perendaman adalah 136,6°, menunjukkan sifat hidrofobik. Setelah perendaman, terjadi fluktuasi penurunan dan kenaikan sudut kontak, dengan penurunan terendah pada hari ke-13 (86,0°), yang bisa dikatakan bersifat basah sebagian karena nilainya berada di antara 30°-90°. Kenaikan nilai sudut kontak terbesar terjadi pada hari ke-5 (132,0°), tetap menunjukkan sifat hidrofobik. Pola yang serupa juga terlihat pada sampel ES2-AT, ES3-AT, dan ES4-AT. Keempat sampel tersebut tetap memiliki sifat hidrofobik, dengan sudut kontak terbaik terlihat pada ES4-AT. Sampel ini bersifat hidrofobik karena bahan pengisi ATH memiliki struktur non-polar dan tidak memiliki muatan listrik yang signifikan. Oleh karena itu, bahan pengisi ATH cenderung tidak bereaksi secara kimia dengan air atau cairan polar. Sebaliknya, permukaan isolator dengan bahan pengisi ATH akan menolak cairan polar dan memiliki sifat hidrofobik.

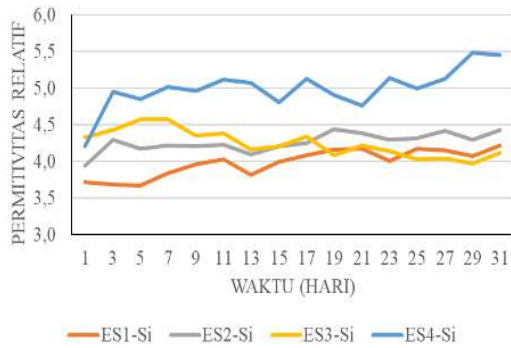


Gambar 9. Nilai sudut kontak sampel ES-AT pada suhu 50 °C

Gambar 9 menunjukkan variasi nilai sudut kontak yang mengalami penurunan dan kenaikan, pengaruh perbedaan suhu dan kelembaban saat pengukuran. Misalnya, pada sampel ES1-AT, nilai sudut kontak sebelum perendaman adalah 98,7°, menunjukkan sifat hidrofobik. Setelah perendaman, terjadi fluktuasi penurunan dan kenaikan sudut kontak, dengan penurunan terendah pada hari ke-5 (101,0°), masih menunjukkan sifat hidrofobik. Kenaikan sudut kontak terbesar terjadi pada hari ke-22 (141,9°), tetap menunjukkan sifat hidrofobik. Pola serupa juga terlihat pada sampel ES2-AT, ES3-AT, dan ES4-AT. Keempat sampel tersebut tetap memiliki sifat hidrofobik, dengan sudut kontak terbaik terlihat pada ES3-AT. Sampel ini bersifat hidrofobik karena bahan pengisi ATH memiliki struktur non-polar dan tidak memiliki muatan listrik yang signifikan. Oleh karena itu, bahan pengisi ATH cenderung tidak bereaksi secara kimia dengan air atau cairan polar. Sebaliknya, permukaan isolator dengan bahan pengisi ATH akan menolak cairan polar dan memiliki sifat hidrofobik.

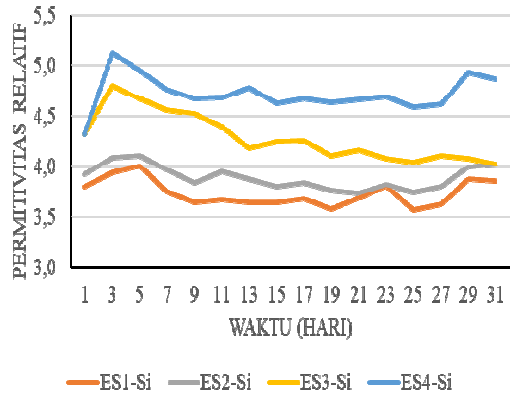
C. Permittivitas Relatif

a) Sampel ES-Si



Gambar 10. Nilai permitivitas relatif sampel ES-Si pada suhu ruang

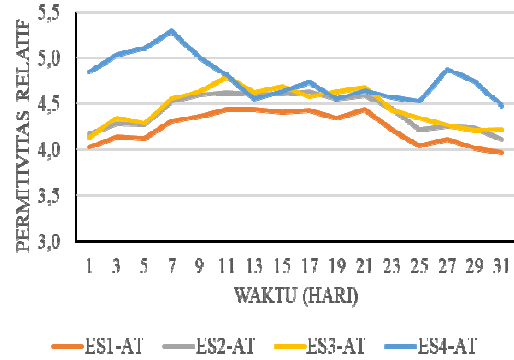
Gambar 10 menunjukkan perubahan nilai permitivitas relatif keempat sampel uji sebelum dan sesudah perendaman karena penyerapan air. Nilai ϵ_r pada masing-masing sampel berubah-ubah dari waktu ke waktu karena dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti nilai kapasitansi sampel uji, pengaruh difusi air karena momen dipol air yang tinggi, dan pengaruh penambahan filler yang mengakibatkan polarisasi antarmuka bahan pengisi dengan polimer. Bahan pengisi SiO_2 memiliki struktur padat dan stabil secara kimia yang menyebabkan adanya polarisasi listrik di dalam material. Medan listrik eksternal menyebabkan perpindahan muatan dalam bahan pengisi SiO_2 , meningkatkan kemampuan isolator untuk mempercepat atau memperlambat medan listrik. Sampel ES1-Si merupakan sampel dengan nilai permitivitas relatif yang paling stabil.



Gambar 11. Nilai permitivitas relatif sampel ES-Si pada suhu 50 °C

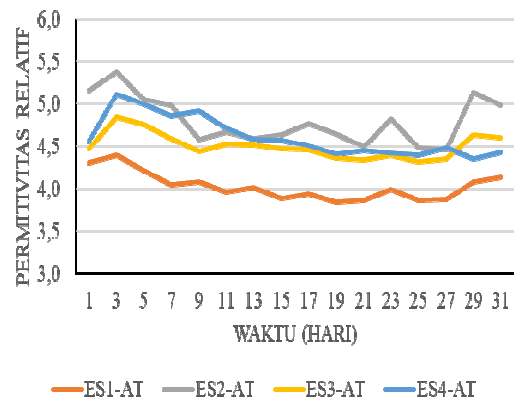
Gambar 11 menunjukkan perubahan nilai permitivitas relatif keempat sampel uji sebelum dan sesudah perendaman karena penyerapan air. Nilai ϵ_r pada masing-masing sampel berubah-ubah dari waktu ke waktu karena dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti nilai kapasitansi sampel uji, pengaruh difusi air karena momen dipol air yang tinggi, dan pengaruh penambahan filler yang mengakibatkan polarisasi antarmuka bahan pengisi dengan polimer. Bahan pengisi SiO_2 memiliki struktur padat dan stabil secara kimia yang menyebabkan adanya polarisasi listrik di dalam material. Medan listrik eksternal menyebabkan perpindahan muatan dalam

bahan pengisi SiO_2 , meningkatkan kemampuan isolator untuk mempercepat atau memperlambat medan listrik. Sampel ES1-Si merupakan sampel dengan nilai permitivitas relatif yang paling stabil.



Gambar 12. Nilai permitivitas relatif sampel ES-AT pada suhu ruang

Pada Gambar 12, nilai permitivitas relatif keempat sampel mengalami perubahan dari waktu ke waktu karena penyerapan air. Contohnya, pada sampel ES1-AT, nilai ϵ_r awal sebelum perendaman adalah 4,0 dan meningkat menjadi 4,2 pada hari pertama perendaman. Namun, nilai tersebut kemudian mengalami penurunan dan berubah-ubah hingga mencapai 4,0 pada hari terakhir. Pola perubahan serupa juga terjadi pada sampel ES2-AT, ES3-AT, dan ES4-AT. Sampel ES1-AT dianggap memiliki nilai permitivitas relatif yang baik. Faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan nilai permitivitas relatif termasuk kapasitansi sampel uji, pengaruh difusi air akibat momen dipol air yang tinggi, dan pengaruh penambahan filler yang meningkatkan polarisasi antarmuka bahan pengisi dengan polimer, membuat sampel lebih mudah menyerap air. Bahan pengisi ATH memiliki konstanta dielektrik yang rendah karena ikatan kovalen polar antara atom aluminium dan oksigen membentuk molekul polar dengan momen dipol listrik. Struktur kristal ATH yang rapat, terdiri dari lapisan alumina dan lapisan air yang saling terikat, serta bentuk tetrahedral yang padat, membuat sulit bagi muatan listrik untuk mengalir bebas di dalamnya, berkontribusi pada konstanta dielektrik yang rendah.



Gambar 13. Nilai permitivitas relatif sampel ES-AT pada suhu 50 °C

Pada Gambar 13, nilai permitivitas relatif keempat sampel mengalami perubahan dari waktu ke waktu akibat penyerapan air. Contohnya, pada sampel ES1-AT, nilai ϵ_r awal sebelum perendaman adalah 4,3 dan meningkat menjadi 4,5 pada hari pertama perendaman. Namun, nilai tersebut kemudian mengalami penurunan dan berubah-ubah hingga mencapai 4,1 pada hari terakhir. Pola perubahan serupa juga terjadi pada sampel ES2-AT, ES3-AT, dan ES4-AT. Sampel ES1-AT dianggap memiliki nilai permitivitas relatif yang baik. Faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan nilai permitivitas relatif termasuk kapasitansi sampel uji, pengaruh difusi air akibat momen dipol air yang tinggi, dan pengaruh penambahan filler yang meningkatkan polarisasi antarmuka bahan pengisi dengan polimer, membuat sampel lebih mudah menyerap air. Bahan pengisi ATH memiliki konstanta dielektrik yang rendah karena ikatan kovalen polar antara atom aluminium dan oksigen membentuk molekul polar dengan momen dipol listrik. Struktur kristal ATH yang rapat, terdiri dari lapisan alumina dan lapisan air yang saling terikat, serta bentuk tetrahedral yang padat, membuat sulit bagi muatan listrik untuk mengalir bebas di dalamnya, berkontribusi pada konstanta dielektrik yang rendah.

V. KESIMPULAN

1. Nilai berat sampel uji mengalami kenaikan yang disebabkan oleh bertambahnya berat air pada sampel uji yang telah direndam selama 31 hari pada suhu ruang dan suhu 50 °C. Untuk setiap jenis bahan pengisi yang diberikan memiliki penambahan berat yang bervariasi. Seperti halnya SiO₂, untuk sampel yang diisikan dengan bahan pengisi ini memiliki penambahan berat yang tidak relatif cepat jika dibandingkan dengan sampel yang bahan pengisinya ATH. Untuk konsentrasi pemberian fillernya juga berpengaruh terhadap penambahan berat sampel. Dimana untuk filler SiO₂, jika konsentrasi fillernya 5% lebih sedikit penyerapan airnya dibandingkan dengan konsentrasi fillernya 20%. Untuk filler ATH, jika konsentrasi fillernya 5% lebih banyak menyerap air dibandingkan dengan konsentrasi fillernya 20%. Perbedaan suhu yang dilakukan hanya mempengaruhi cepatnya proses difusi air.
2. Nilai sudut kontak yang didapatkan memiliki variasi di mana jika diberikan konsentrasi filler 20% akan menghasilkan nilai sudut kontak yang baik dibandingkan dengan konsentrasi filler 5%, berlaku untuk kedua jenis filler yaitu SiO₂ dan ATH.
3. Nilai permitivitas yang didapatkan dipengaruhi oleh besar konsentrasi filler yang diberikan dimana konsentrasi fillernya 20% semakin tinggi nilai permitivitas relatifnya dibandingkan dengan yang konsentrasi fillernya 5%, berlaku untuk kedua jenis filler yaitu SiO₂ dan ATH.
4. Pengaruh difusi air terhadap sifat hidrofobik suatu sampel uji adalah semakin besar berat sampel maka semakin kecil sudut kontak yang dihasilkan akan tetapi dengan adanya penambahan filler maka pada keadaan tertentu nilai sudut kontak yang dihasilkan besar. Nilai sudut kontak yang dihasilkan semua masih tergolong ke dalam menolak air (hidrofobik).
5. Pengaruh difusi air terhadap sifat dielektrik suatu sampel uji adalah semakin besar berat sampel maka semakin tinggi nilai permitivitas relatifnya namun terkadang dalam keadaan tertentu nilai permitivitas relatifnya semakin kecil.

REFERENSI

- [1] Anggrini DALAM (2010). Efek Bahan Isolasi Resin Epoksi dengan Bahan Pengisi Silikon Rubber terhadap Proses Tracking dan Erosi. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- [2] Gorur, R.S., Cherney, E.A., Burnham, J.T. 1999. Outdoor Insulators. Arizona: USA
- [3] IEC. (2016). Guidance on The Measurement Of Hydrofobicity of Insulator Surface
- [4] Kind Dieter, Kamer Hermann. 1985. High Voltage Insulation Technology. W.Langeluddecke, Braunschweig: Germany. Kind, D. (198530-96.), High-Voltage Insulation Technology, textbook for Electrical Engineers, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden.
- [5] Meyer, L. W. (2017). Thermal Characteristics of Silicone Rubber Filled With ATH And Silica Under Laser Heating. IPTEK, 1.
- [6] Mustamin, Salama Manjang. 2011. Karakteristik Isolator Polimer Tegangan Tinggi Di Bawah Penuaan Tekanan Iklim Tropis Buatan Yang Dipercepat. Jurnal Teknik Mesin SINERGI 9(1):23–37.
- [7] Manjang, S., Kitta, I., Muhammadiyah, K. B., & R, N. I. (2015). Effect Of Water Diffusion On Dielectric Behavior Of Polymer Insulators. The 5th International Conference On Electrical Engineering and Informatics 2015, 192-196.
- [8] Nazir, M. T., & Phung, B. T. (2018). Accelerated Ultraviolet Weathering Investigation on Micro/NanoSio2 filled Silicone Rubber Composites. University of New South Wales Sydney, 1-18.
- [9] Salama, Suworno, K. T. Sirait, H. C. Kaerner. (1998) The Dielectric Properties and Surface Hydrophobicity of Silicone Rubber Under the Influence of the Artificial Tropical Climate, Proc, 1998. International Symposium on Electrical Insulating Materials, Toyohasni, Japan, P2-3, 607-610.
- [10] Salama Manjang, Mustamin. 2010. Kajian Karakteristik Isolator Polimer Tegangan Tinggi oleh Penuaan Berbagai Tekanan Buatan pada Daerah Tropis. Proc, National Conference on Industrial Electrical and Electronic, UNTIRTA, Cilegon. Indonesia. 15-16 Desember 2010.
- [11] Salahuddin S. T. M. 2014. Bahan Ajar Bahan Listrik Fakultas Teknik Universitas Malekussaleh. Bahan Listrik Fakultas Teknik 1382:14–15. Jamaaluddin. 2019. Konduktor–Isolator dan Semikonduktor. Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. Jawa Timur.
- [12] Salahuddin. 2014. Bahan Listrik. Satuan Acra Pengajar (SAP). Fakultas Teknik. Universitas Malikussaleh.
- [13] Samsurizal, Rizki, P. P., Christiono. 2018. Studi Sifat Transfer Hidrofobik dari Bahan Isolator Polimer Silikon Rubber akibat Pengaruh Cuaca di Daerah Tropis Perkotaan. Ilmiah Setrum. 7(2): 288-295.
- [14] Tobing, B. L. (2012). Peralatan Tegangan Tinggi. Jakarta: Erlangga.
- [15] Yuniarti, N. A. (2007). Tinjauan Sifat Hidrofobik Bahan Isolasi Silicone Rubber. Jurnal Tekno.

- [16] Yusrizal, A. (2014). Analisis Distribusi Medan Listrik Pada Isolator Gantung Menggunakan CST Studio Suite. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [17] Vanlandingham, M.R., Eduljee, R. F., and Gillespie, J.R. 1999. Moisture Diffusion in Epoxy Systems. *Applied Polymer Science*. 71: 787-798.